

# Выполнение защит от замыканий на землю обмотки статора генератора

подавляющее большинство электрических повреждений обмотки статора генератора – однофазные и двойные замыкания на землю [1]. Своевременно отключенное однофазное замыкание предотвращает тяжёлые повреждения генераторов. В настоящее время не существует одного универсального принципа выполнения защиты, который обеспечил бы полноценную защиту обмотки статора для всего многообразия схем включения генераторов.

В статье рассматриваются варианты выполнения земляной защиты, охватывающие всё многообразие схем включения генераторов, в составе комплекса защит генератора ШГ 2114, изготавливаемого ООО «ИЦ Бреслер» совместно с ООО «Релейная защита» (ООО «Релза»), г. Томск. ООО «Релза» имеет 40-летний опыт в решении проблем, связанных с замыканиями на землю, для самых разнообразных и нестандартных главных схем электростанций и подстанций (<http://relza.tom.ru>).

## Авторы:

Головки С.И.,  
Романов Ю.В.,  
Емельянов А.В.

**В**ажным достоинством защит, входящих в состав комплекса ШГ 2114, является их селективная работа при перемежающихся дуговых замыканиях (ПДЗ). Под селективной работой подразумевается то, что защита должна быть отстроена от внешних ПДЗ и срабатывать с минимальным временем при внутреннем ПДЗ. При этом учитывается многообразие процесса ПДЗ. Требование правильной работы при ПДЗ является критичным [2]. Это обусловлено тем, что большинство замыканий на землю, особенно в начальной стадии, происходит через перемежающуюся дугу, причём длительность перемежающейся стадии может достигать десятков минут и более. ПДЗ значительно опаснее металлического замыкания. В месте горения дуги выделяется большое количество тепла, что приводит к разрушению стали статора. Особую опасность представляет то, что ПДЗ инициирует

перенапряжения, из-за которых становится значительной вероятность перехода однофазного замыкания в двойное короткое замыкание через сталь статора.

Поскольку смоделировать процесс ПДЗ технически довольно трудно, специалисты-релейщики чаще всего не имеют возможности проверить работоспособность находящихся у них в эксплуатации устройств защиты от замыканий на землю в этом сложном аварийном режиме. Чтобы решить эту проблему, по заказу комплекс ШГ 2114 доукомплектовывается устройством для проверки защит при перемежающихся дуговых замыканиях типа УПДЗ-1 [3].

Классификация возможных схем включения генераторов и видов защиты от замыканий на землю обмотки статора генератора, входящих в состав комплекса ШГ 2114, приведена на рис. 1.

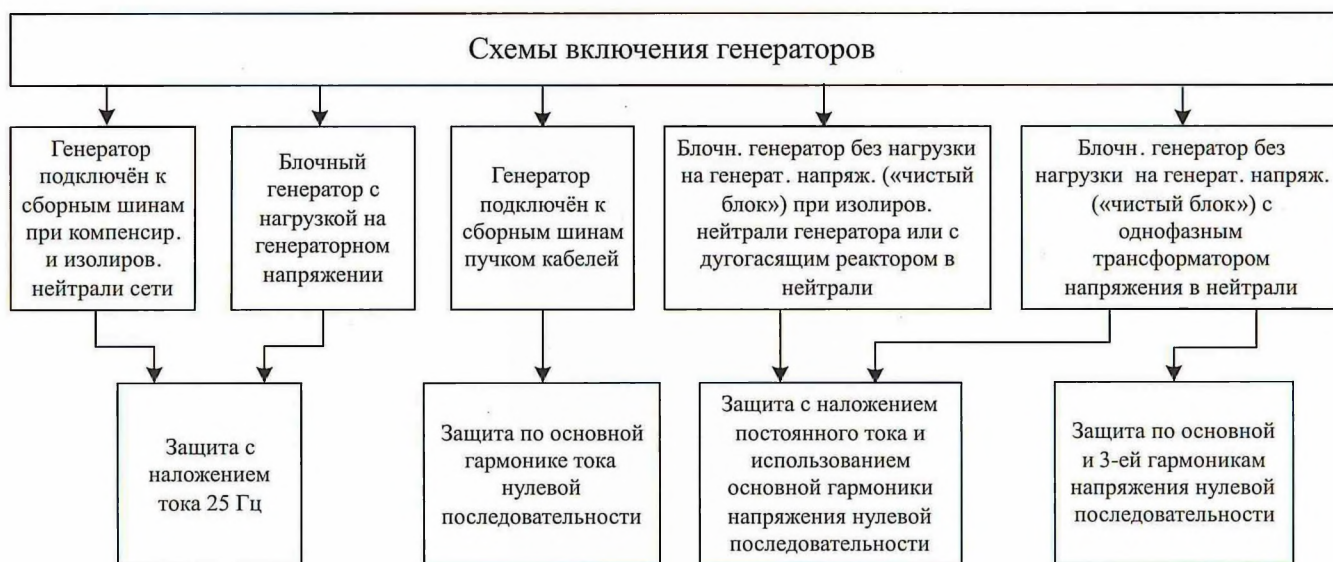


Рис. 1. Виды защиты от замыканий на землю обмотки статора генератора в составе комплекса ШГ 2114

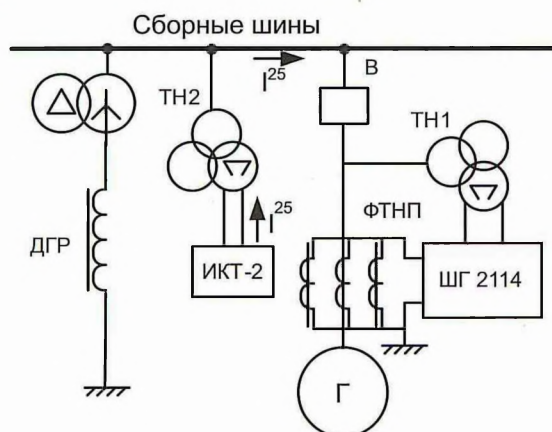


Рис. 2. Схема подключения защиты с наложением контрольного тока 25 Гц через ТН

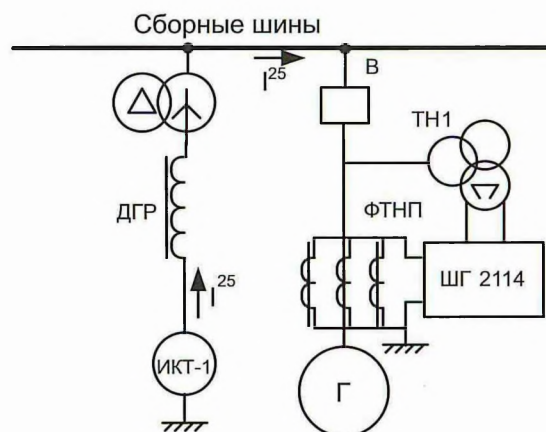


Рис. 3. Схема подключения защиты с наложением контрольного тока 25 Гц через ДГР

### ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРОВ, ПОДКЛЮЧЁННЫХ К СБОРНЫМ ШИНАМ, ПРИ КОМПЕНСИРОВАННОЙ И ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛИ СЕТИ

Защита применима как для генераторов, подключённых к сборным шинам токопроводами, так и для генераторов, подключённых пучком кабелей.

Защита реализуется с помощью наложения контрольного тока  $I^{25}$  частотой 25 Гц [4].

Характеристики защиты:

- селективно работает как при устойчивых, так и при перемежающихся дуговых замыканиях;

- обеспечивает 100 % охват обмотки статора.

Наложение  $I^{25}$  возможно двумя способами:

1. Через «разомкнутый треугольник» трансформатора напряжения нулевой последовательности с помощью источника контрольного тока 25 Гц ИКТ-2 (рис. 2). Способ применим как в компенсированных, так и в изолированных сетях.

2. Через дугогасящий реактор (ДГР) с помощью источника контрольного тока ИКТ-1 (рис. 3). Способ применим только в компенсированных сетях.

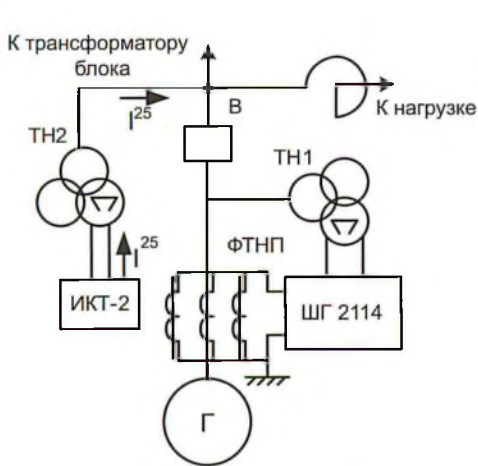
Предпочтительным является наложение  $I^{25}$  через трансформатор напряжения (ТН). Наложение  $I^{25}$  через ДГР при-

меняется тогда, когда кроме защиты генератора осуществляется измерение расстройки компенсации и автоматическая настройка ДГР [5].

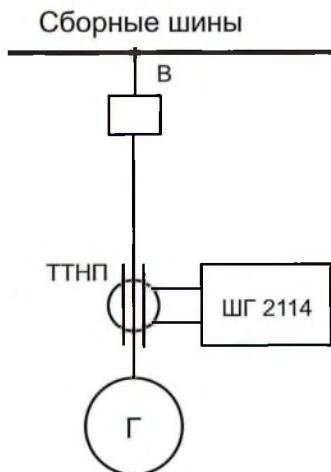
Токовый вход защиты подключается к трёхтрансформаторному фильтру тока нулевой последовательности ФТНП, вход напряжения подключается к разомкнутому треугольнику ТН1.

### ЗАЩИТА БЛОЧНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ С НАГРУЗКОЙ НА ГЕНЕРАТОРНОМ НАПРЯЖЕНИИ

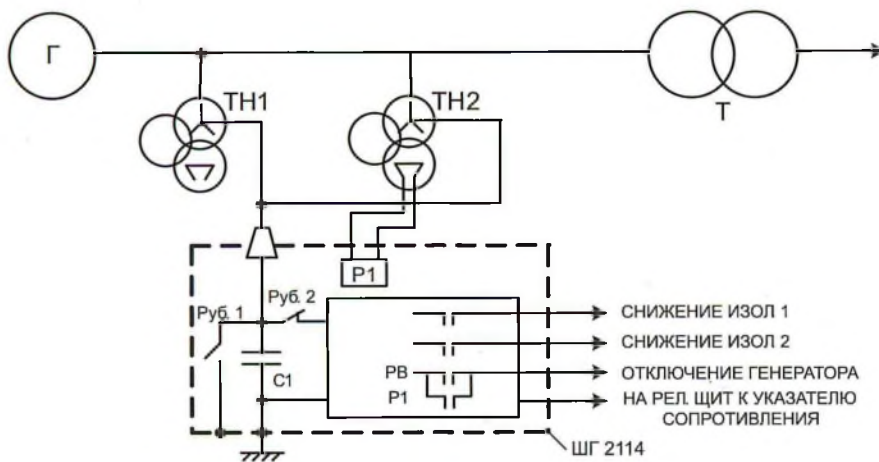
Селективная защита таких генераторов также выполняется на принципе наложения контрольного тока 25 Гц.



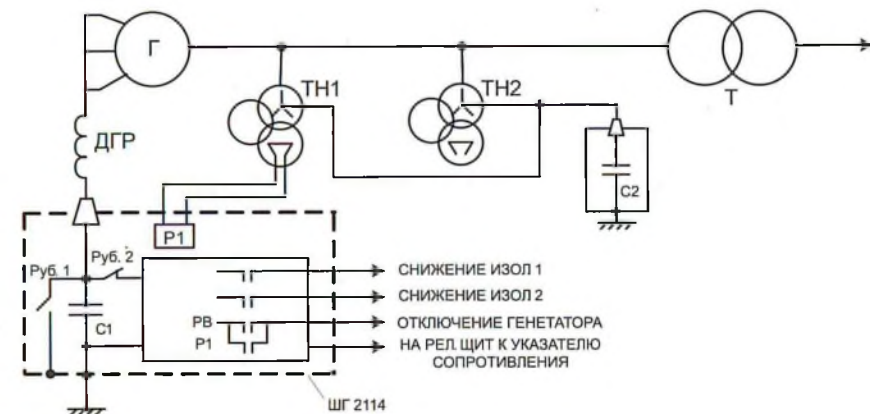
**Рис. 4.** Схема подключения защиты блочных генераторов с нагрузкой на генераторном напряжении



**Рис. 5.** Схема подключения защиты генераторов, присоединённых к сборным шинам пучком кабелей



**Рис. 6.** Схема подключения защиты блочных генераторов без нагрузки на генераторном напряжении при изолированной нейтрали генератора



**Рис. 7.** Схема подключения защиты блочных генераторов без нагрузки на генераторном напряжении при нейтрали генератора, заземлённой через ДГР

Схема подключения защиты приведена на рис. 4. Наложение контрольного тока 25 Гц осуществляется через трансформатор напряжения ТН2.

Защита охватывает 100 % обмотки статора генератора.

### ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРОВ, ПОДКЛЮЧЁННЫХ К СБОРНЫМ ШИНАМ ПУЧКОМ КАБЕЛЕЙ

Генераторы небольшой мощности могут подключаться к сборным шинам пучком кабелей, на который может быть установлен трансформатор тока нулевой последовательности ТТНП, охватывающий этот пучок. У такого ТТНП ток небаланса невелик, что позволяет сделать простую защиту, реагирующую на основную гармонику тока однофазного замыкания с током срабатывания от 3 А первичных. Схема подключения защиты, предназначенной для данного случая, приведена на рис. 5.

Защита правильно работает при ПДЗ, т.е. она отстроена от внешних ПДЗ и срабатывает при внутренних ПДЗ.

Достоинством этой защиты является простота и надёжность. Недостаток – наличие зоны нечувствительности вблизи нейтрали статора. Если заказчик считает недопустимым наличие зоны нечувствительности, то необходимо использовать защиту с наложением контрольного тока 25 Гц.

### ЗАЩИТА БЛОЧНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ БЕЗ НАГРУЗКИ НА ГЕНЕРАТОРНОМ НАПРЯЖЕНИИ ПРИ ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛИ ГЕНЕРАТОРА ИЛИ С ДУГОГАСЯЩИМ РЕАКТОРОМ В НЕЙТРАЛИ

Защита таких генераторов выполняется на принципе наложения постоянного тока [6] с использованием замера основной гармоники напряжения нулевой последовательности.

Зона защиты охватывает 100 % обмотки статора генератора.

Защита содержит отключающий орган, срабатывающий при замыкании в генераторе, и чувствительный измерительный орган, с помощью которого осуществляется непрерывное измерение сопротивления изоляции сети генераторного напряжения на работающем генераторе. В генераторах с водяным охлаждением обмотки статора сопротивление изоляции шунтируется сопротивлением системы охлаждения, поэтому на таких генераторах устройство защиты осуществляет также контроль качества охлаждающей воды и сопротивления изо-

ляции шлангов, подающих воду в генератор. Благодаря своевременному оповещению персонала о снижении сопротивления изоляции неоднократно были предупреждены замыкания на землю и возможные при этом повреждения генераторов.

Диапазон измерения сопротивления изоляции составляет от 5 кОм до 10 МОм для генераторов с газовым, масляным и воздушным охлаждением обмотки статора и от 500 Ом до 1 МОм для генераторов с водяным охлаждением. Результат измерения выводится на цифровое табло. Предусмотрена выдача двух логических сигналов при снижении сопротивления изоляции ниже заданных значений.

Первичные цепи защиты, гальванически связанные с генератором, отделены от вторичных цепей изоляцией на генераторное напряжение, что обеспечивает безопасность обслуживания защиты.

Схема подключения защиты применительно к генератору с изолированной нейтралью приведена на рис. 6.

Нейтрали всех трансформаторов напряжения блока объединяются и заземляются через разделительный конденсатор С1. При наличии выключателя между генератором и блочным трансформатором нейтралей ТН, прилегающих к трансформатору, объединяются с нейтралями ТН1 и ТН2 или заземляются через отдельный разделительный конденсатор. С помощью рубильников Руб. 1 и Руб. 2 осуществляется вывод защиты из работы и заземление нейтралей ТН.

На реле Р1 выполнена защита по основной гармонике напряжения нулевой последовательности.

При металлическом замыкании в зоне нечувствительности (8–15 %) реле Р1 не срабатывает, но срабатывает выходное реле РВ измерительного органа, реагирующего на наложенный постоянный ток. При металлическом замыкании за пределами зоны нечувствительности срабатывают Р1 и РВ. Переключающееся дуговое замыкание возможно только в зоне действия реле Р1, т.к. напряжение вблизи нейтрали недостаточно для горения дуги. При любой разновидности ПДЗ реле Р1 срабатывает со 100 % гарантией [7]. Поведение реле РВ зависит от разновидности ПДЗ, в частности от полярности напряжения пробоя.

Схема подключения защиты применительно к генератору с дугогасящим реактором в нейтрали приведена на рис. 7. Нейтрали ТН, установленных на выводах генератора, заземляются через разделительный конденсатор С2.

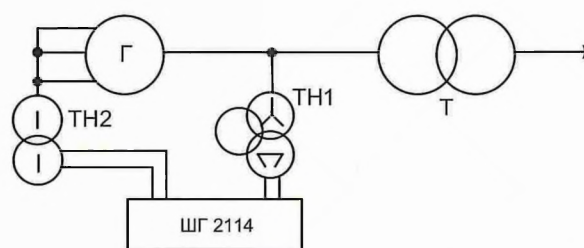


Рис. 8. Схема подключения защиты блочных генераторов без нагрузки на генераторном напряжении при наличии ТН в нейтрали генератора

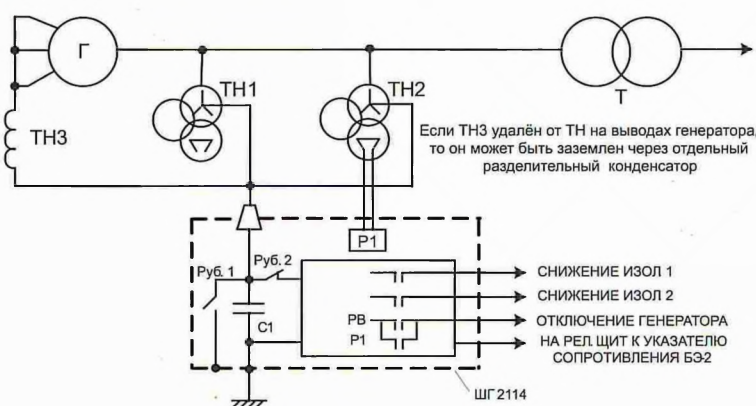


Рис. 9. Второй вариант схемы подключения защиты блочных генераторов без нагрузки на генераторном напряжении при наличии ТН в нейтрали генератора

### ЗАЩИТА БЛОЧНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ БЕЗ НАГРУЗКИ НА ГЕНЕРАТОРНОМ НАПРЯЖЕНИИ С ОДНОФАЗНЫМ ТРАНСФОРМАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ В НЕЙТРАЛИ

Защита таких генераторов может быть выполнена 2-мя способами:

1. По основной и третьей гармонике напряжения нулевой последовательности (рис. 8).

Зона защиты охватывает 100 % обмотки статора генератора. Модуль третьей гармоники напряжения нулевой последовательности выполнен по адаптивной схеме, что обеспечивает высокую чувствительность и высокую надёжность защиты.

Схема подключения защиты приведена на рис. 8.

2. На принципе наложения постоянного тока (рис. 9).

### ВЫВОДЫ

Гарантируется правильность работы защит статора от замыканий на землю, входящих в состав комплекса ШГ 2114, при перемежающихся дуговых замыканиях.

Микропроцессорный комплекс защиты генератора ШГ 2114 включает в себя функции защиты статора от замыканий на землю для всех возможных схем подключения генераторов. □

### ЛИТЕРАТУРА

1. "Värmekraftaggregatens Reläskyddssystem", The Swedish Trunklinecommittee, Operations Committee, The Working Group for Protection Systems, 21 October, 1991.
2. Головки С.И. Земляные защиты электрооборудования 6–35 кВ. Учёт перемежающихся дуговых замыканий. – Новости Электротехники, № 2, 2012 г.
3. Головки С.И. Земляные защиты электрооборудования 6–35 кВ. Вновь о перемежающихся дуговых замыканиях. – Новости Электротехники, № 5, 2012 г.
4. Головки С.И., Потапов П.Н. Защита от замыканий на землю обмотки статора генераторов, работающих на сборные шины. – Электрические станции, № 7, 2005 г.
5. Головки С.И., Потапов П.Н. Измерение расстройки компенсации в сетях 6–35 кВ. – Электрические станции, № 9, 2003 г.
6. Головки С.И., Потапов П.Н. Защита от замыканий на землю обмотки статора блочных генераторов. – Энергетик, № 1, 2006 г.
7. Головки С.И., Албул В.Н. О работе защиты напряжения нулевой последовательности блочных генераторов при перемежающихся дуговых замыканиях. – Известия вузов. Энергетика, № 5, 1988 г.